第7卷第3期　　动 物 学 研 究　　Vol. 7, No. 3
1986年8月　　ZOOLOGICAL RESEARCH　　Aug., 1986

树鼩脑三维结构重建的研究

Ⅰ.脑切片图象的计算机辅助绘图

汪多江△，孙公铎*，邓案云**，刘树仪°，李绪明*，
陈 楠**，潘贵书*，马原野**，蔡景霞**

摘　要

作者对生活在我国云南等地的树鼩（*Tupaia belongeri chinensis*）的脑与行为进行研究的同时，将采集的脑切片数据用电子计算机处理，建立了三维结构数学模型。本文介绍树鼩脑切片二维结构重建的数据采集、计算机处理数据的算法及图形生成技术。

关键词　树　鼩　脑三维结构重建　计算机

引　　言

脑的三维结构重建的研究可追溯至1948年，Krieg用手工描绘了恒河猴间脑的三维图象。其后，Fisher（1979）用照相摄影技术，重建了大鼠下丘脑的三维图象。采用电子计算机辅助重建脑的三维结构则是近年之事（Ware, 1975；Foote等，1980；Lydic等，1982）。国内迄今未见报道。

在计算机中一旦建立起脑的数学模型，便可利用收集到的必要而有限的切片数据，对脑的许多参数进行分析、计算、比较，为研究脑功能开辟了新的途径。当然，也有助于提供有关脑的立体定位的精确手段，从而实验者可在任意角度下将微电极或导管插至所欲达到之脑区。

△　贵州省国营云马机械厂
*　贵阳医学院生理教研室脑与行为研究组
**　中国科学院昆明动物研究所灵长类研究室
°　贵州省测绘局
本文1984年3月19日收到，1984年11月21日收到修改稿。

切片标本制作

本研究必先制作脑立体定位切片标本。其过程如下：将成年树鼩用过量戊巴比妥钠麻醉致死后，用10%福尔马林固定，二周后取出动物头，小心除去肌肉和部份颅骨，保留颅骨前、后囟的骨质标志。将剥制好的标本置于腊盘中，用墨笔标定前囟B (Bregma) 点和枕骨粗隆与正中缝交点L (Lamhda)。随即将其固定于立体定位仪上，除去剩余骨骼并调整BL连线成水平线。在定位仪三相标尺的垂直调节杆上安装一刀片，使之垂直于BL线。以BL线中点为起点，按0.5或1.0mm厚薄作冠状切片。置蒸馏水中将切片摊平并反复冲洗。用MULLIGAN氏脑厚切片染色法染色，显示灰质和白质。注意使切片具有较高的反差。如为薄切片可按一般切片染色法制作。

数据收集

将切片置于显微照相机下摄影放大成照片（图1）。

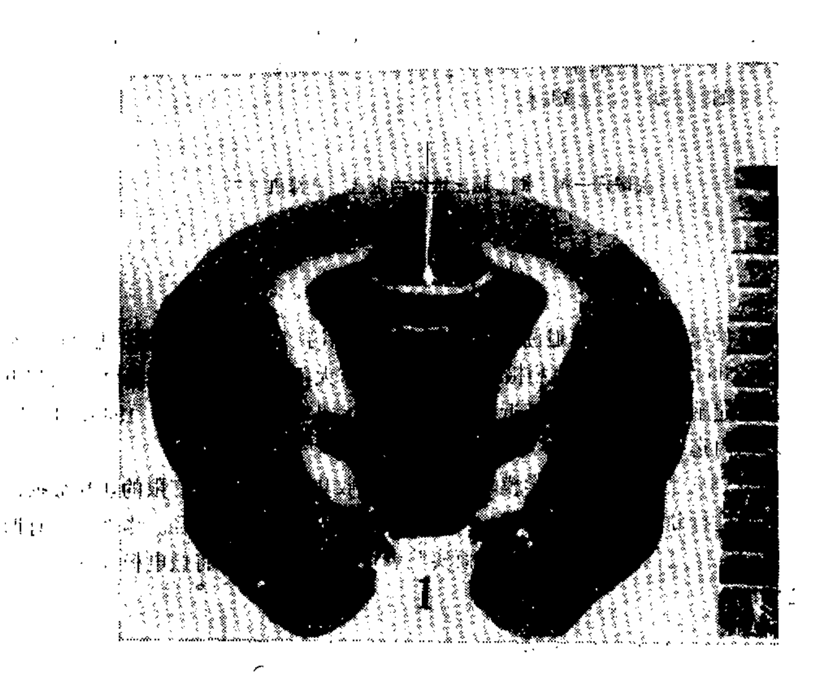


Fig. 1 The coronary section of the brain of the *Tupaia belongeri chinensis*

所得之照片在确定平面座标系之后，用0.5mm的细针尖在预定测试脑区轮廓上钻孔。孔之密度视需要而定；考虑脑轮廓的生理特点，如果曲率变化大则多取点，否则少

取；根据数学模型的要求，点数要控制在最低限度内。用HCZ—1型立体座标测量仪测出照片上各点的X、Y座标值。这些座标值即数学模型所需的输入信息。

值得注意的是，座标系的选取：在确定各个切片座标系时，必须考虑到三维重建时的需要。对于同一个脑来讲，各切片均处于一个统一的三维座标系内。另外，各切片之间对应点的选取必须适应数学模型的算法。

产 生 图 形

将所测得切片的二维座标数据用穿孔机穿制出五单位信息纸带，读入电子计算机，供数学模型程序计算。再按绘图信息要求进行后置处理，由联机快速凿孔机(H8227型)穿出八单位绘图信息纸带，再输入精密数控绘图机 (7062RIS6015V型) 而绘制出图形。流程如图2所示。

作者建立计算机数模时，立足于三维结构的重建，因而，切片图象仅是其中的截面图形。图3表示用计算机辅助绘图 (CAG-Computer Aided Graphics) 产生图1切片的不同比例的轮廓图。

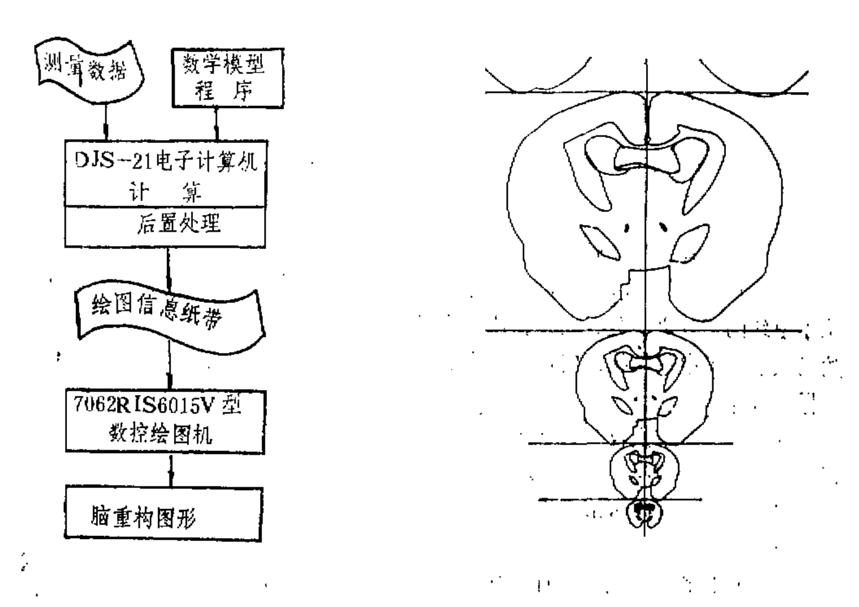


Fig. 2 Flow chart of pictures by Computer Aided Graphics

Fig. 3 Picture of Fig. 1 drawing by CAG

算 法

在树鼩脑三维结构重建时，作者采用B样条 (B-Spline) 方法。根据本文的目的，这

里仅介绍二维算法。对测量所得的离散点进行平滑拟合(Riesenfeld, 1972)时采用的B样条曲线，是在K个跨度上非零的分段多项式。这里K是B样条的阶，（K－1）是多项式的次数。当K＝4时，得四阶B样条的计算公式为

$$\vec{P}(u)=RM\vec{V}^{T} \quad \cdots\cdots (1)$$

其中 $R=[r^3 r^2 r\ 1]$

$$\vec{V}=[\vec{V}_{i-1}\ \vec{V}_i\ \vec{V}_{i+1}\ \vec{V}_{i+2}]$$

$$M=\frac{1}{6}\begin{pmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$0\leqslant u\leqslant n$

$r=\{u\}=u-i$ 为u的小数部分

$i=[u]$ 为u的整数部分

$\{V_i\}_{i=-1}^{n+2}$ 为已知顶点

（1）式定义为一条C^2级连续的n段分段三次曲线，其中的段可写成带足标形式：

$$\vec{P_i}(u)=\vec{P}_i(r_i)=R_iM\vec{V}_i^{T} \quad \cdots\cdots (2)$$

$(i\in[0,\ n-1])$

则（2）有下列性质：

（一）节点$P_i=P_i(0)$落在由V_{i-1}，V_i，V_{i+1}三个相邻顶点所构成的三角形内，且位于中线的三分之一处。曲线在该点的切线与底边平行，模为底边的二分之一，二阶导数矢量平行于中线，指向底边，模为中线长度之二倍。对于$P_{i+1}=P_i(1)=P_{i+1}(0)$也同样，故保凸性好。

（二）一个节点仅与三个相邻顶点有关；一段曲线仅与四个相邻顶点有关。即一个顶点仅影响四段曲线，局部性显而易见。

（三）三重顶点可形成尖点，尖点两边各有一直线段，虽切矢间断，但对参数仍C^2连续。

（四）相邻三顶点共线时，节点也在此直线上，且切矢、二阶导矢与该直线共线，因此节点处曲率为零。相邻四顶点共线时，对应的一段曲线也是在此直线上的一个线段。

另外，顶点构成正多边形时可用来逼近圆。例如，在笛卡尔座标系中，用正十二边形逼近半径为400mm的圆时，误差小于0.04mm，而在极座标下可以精确描述圆。

总之，B样条具有局部性和变差减小性质，即在波动意义下，逼近函数(B-Spline)总比被逼近函数（顶点构成的特征多边形）要光滑。整根B样条曲线落在整个特征多边形依次的四个顶点所组成的凸包并集之中，并可嵌入尖点、重点和直线。

根据测量点反算出顶点，然后再用（1）式计算曲线。求顶点需要解方程组：

$$\frac{1}{6}\begin{pmatrix} b_0 & c_0 & & & & d \\ 1 & 4 & 1 & & & \\ & 1 & 4 & 1 & & \\ & & \cdots & & & \\ & & & \cdots & & \\ & & & 1 & 4 & 1 \\ d & & & & a_n & b_n \end{pmatrix}\begin{pmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ V_{n-1} \\ V_n \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} f_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ P_{n-1} \\ f_n \end{pmatrix} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

其中，b_0，c_0，a_n，b_n，d，f_0，f_n随端点条件而定（表1）

表1

端点条件	b_0	c_0	a_n	b_n	d	f_0	f_n
$P''=0$	6	0	0	6	0	P_0	P_n
P'给定	4	2	2	4	0	$P_0+\frac{P_0'}{3}$	$P_n-\frac{P_n'}{3}$
抛物线端	6	−6	−6	6	0	P_0-P_1	P_n-P_{n-1}
重　点	6	1	1	6	0	P_0	P_n
闭曲线	4	1	1	4	1	P_0	P_n

图4示算法流程。

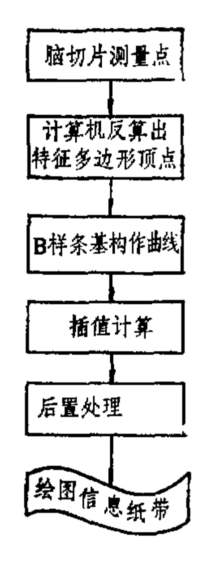


Fig. 4　Flow chart of programming algorithm

参 考 文 献

Fisher, A. W. *et al.* 1979 A 3-dimensional reconstruction of the hypothalamo- neurohypophysial system of the rat *cell. Tissue. Res.* 204: 343-354

Foote, S. L. *et al.* 1980 Accurate three- dimensional reconstruction of neuronal distributions in the brain: reconstruction of the rat nucleus locus coeruleus. J. *J. Neurosci.Meth.* 3: 159-173

Krieg, W. J. 1948 A Reconstruction of the Diencephalic Nucalei of Macacas Rhesus *J.Comp Neurol.* 88: 1---51

Lydic, R. *et al.* 1982 Three-Dimensional Structure of the Mammalian Suprachiasmatic Nuclei: A Comparative Study of Five Species. *J. Comp. Neurol.* 204: 225--237

Riesenfeld, R. F. 1972 Applications of B-Spline Approximation to Geometric Problems of Computer Aided Design. Ph. D. Thesis at Syracuse University. Published as University of Utah. UTEC-CSc. 73-126

Ware, R. W. *et al.* 1975 Three-Dimensional Reconstruction from Serial Sections. *Int.Rev. Cytol.* 40: 325-440

A STUDY ON THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION OF BRAIN STRUCTURE OF THE TREE SHREW (*TUPAIA BELONGERI CHINENSIS*)
I. PICTURE OF THE BRAIN SEGMENTS BY COMPUTER AIDED GRAPHICS

Wang Duojiang *et al.*

(*Guizhou Province Yunma Factory*)

While studying the brain and behavior in tree shrew living in Yunnan, China, a mathematical model for three-dimensional reconstruction of brain structure had been made. In this article, a technique for bi-dimensional reconstruction and the picture of brain slice made by computer were reported.

Key words Tree shrew
Three-dimensional reconstruction of brain structure
Computer